Journal of Agricultural Machinery

Homepage: https://jame.um.ac.ir

Research Article
Vol. 12, No. 4, 2022, p. 515-527

Monitoring Rice Land Changes Using GIS and RS

A. Mesri[1], F. Rahimi-Ajdadi[2*], I. Bagheri[2]

1- M.Sc. Student, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran
2- Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran
(Corresponding Author Email: rahimi_a@guilan.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jam.2021.69174.1025

Received: 28-02-2021 Revised: 17-06-2021 Accepted: 30-06-2021 Available Online: 03-07-2021	**How to cite this article:** Mesri, A., Rahimi-Ajdadi, F., & Bagheri, I. (2022). Monitoring Rice Land Changes Using GIS and RS. *Journal of Agricultural Machinery*, *12*(4): 515-527. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jam.2021.69174.1025

Introduction

Rice is the fourth most consumed grain worldwide. In recent years, monitoring the area under rice cultivation; as a strategic crop in Gilan province has become more important because of the uncontrolled migration of residents of the southern provinces to it. Remote sensing is one of the practical tools to study the trend of changes in the area under cultivation of agricultural and horticultural products on a large scale and in a short time. This technique can help policymakers to make true and timely decisions. The aim of this study is to estimate the area under rice cultivation in Kiashahr county of Gilan province.

Materials and Methods

The images of the TM sensor of Landsat 5 satellite and the OLI sensor of Landsat 8 satellite were used to prepare land use maps. First, geometric and atmospheric corrections were made to the images. Then, supervised classification using the maximum likelihood algorithm was used to prepare land use maps for each year. Seven main classes/land covers, based on the available data of the area were determined: rice-land, semi-dense forest, sparse forest, built-up area (towns and other urbanized areas), waterbody, sandy area and other areas. Then, the area of each land use was calculated by GIS, and their changes were compared.

Results and Discussion

Overall accuracy and kappa coefficient of classification were 98.45% and 0.98 for 2000, 97.59% and 0.97 for 2010, and 98.72% and 0.98 for 2020, respectively. According to the results, rice land area decreased by 4.42% from 2000 to 2010. It also had a decrease of 2.64% between 2010 and 2020. In total, rice lands decreased by 6.94% between 2000 and 2020, so its area has decreased to 10311.69 hectares. This downward trend can be due to the conversion of rice land to the built-up area. The area of semi-dense forest decreased by 47.48% between 2000 and 2010, but its downward trend decreased to 26.36% between 2010 and 2020. In total, semi-dense forest area decreases by 61.32%, equal to 682.25 hectares over a period of 20 years. This is due to the uncontrolled cutting of trees and the change of land use from semi-dense forests to sparse forests and built-up areas. Also, during this period, built-up areas and sparse forests have grown by 67.94% and 18.73%, respectively. But, semi-dense forests, water bodies and sandy areas have decreased by 61.32%, 4.91% and 61.48%, respectively.

Conclusion

The reduction rate in the area of rice land and semi-dense forest classes between 2010 and 2020 was lower than the ten-year period before, which can be attributed to the adoption of restrictive laws and more inspections by relevant organizations. However, the downward trends in these land uses have continued over the past decade. Meanwhile, the increase of 67.94% of built-up lands indicates that the lost lands in the forest and rice land classes have been converted into the built-up area. The rate of land-use change in the built-up class has the highest rate among the studied classes. This result indicates the need for serious attention to land-use change in the rural area more than before. Another point is that there was a growth in sparse forests between 2000 and 2010, and then a reverse trend was observed between 2010 and 2020, which shows that in a period of 10 years, deforestation has taken place, and in 10 years later, the lands from these destructions have been converted to the built-up area. As a result, serious attention to natural resource organizations is necessary. It is considered that there was a deliberate destruction of forests over time with the aim of personal profit.

Keywords: Land use, Maximum likelihood, Sparse forest, Supervised classification

نشریه ماشین‌های کشاورزی
https://jame.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۲، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۱، ص ۵۲۷-۵۱۵

پایش سطح زیرکشت برنج با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و تکنیک سنجش از دور

آرش مصری[۱]، فاطمه رحیمی اجدادی[۲*]، ایرج باقری[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۰۹

چکیده

سنجش از دور، یکی از ابزارهای کارآمد برای بررسی روند تغییرات سطح زیرکشت محصولات کشاورزی و باغی در سطوح وسیع و زمان کوتاه است. سیاست‌گذاران با آگاهی از این اطلاعات، می‌توانند تصمیات صحیح و به‌موقعی داشته باشند. مطالعه‌ی حاضر، با هدف تخمین سطح زیرکشت شالیزارهای برنج در بخش کیاشهر استان گیلان انجام شد. از تصاویر سنجنده TM ماهواره لندست ۵ و سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ به‌منظور تهیه نقشه‌های کاربری اراضی استفاده شد. ابتدا، تصحیح هندسی و اتمسفری بر روی تصاویر صورت گرفت. سپس، با استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی نظارت شده حداکثر احتمال، نقشه‌های کاربری اراضی منطقه با هفت کاربری شامل اراضی برنج، جنگل نیمه‌انبوه، جنگل تنک، مناطق مسکونی، مناطق آبی، پهنه‌های ماسه‌ای و سایر اراضی تهیه شد. در ادامه، مساحت هر یک از کاربری‌ها محاسبه شد و روند تغییرات، مورد مقایسه قرار گرفت. دقت کلّی و ضریب کاپای طبقه‌بندی به‌ترتیب معادل ۹۸/۴۵٪ و ۰/۹۸ برای سال ۲۰۰۰، ۹۷/۵۹٪ و ۰/۹۷ برای سال ۲۰۱۰ و ۹۸/۷۲٪ و ۰/۹۸ برای سال ۲۰۲۰ به‌دست آمد. نتایج نشان داد که اراضی برنج در یک بازه ۲۰ ساله، با کاهش ۶/۹۴ درصدی همراه بوده، به‌طوری‌که مساحت آن از ۱۱۰۸۰/۶۶ هکتار در سال ۲۰۰۰ به ۱۰۳۱۱/۶۹ هکتار در سال ۲۰۲۰ رسیده است. همچنین، در این مدّت مناطق مسکونی و جنگل‌های تنک به‌میزان ۶۷/۹۴ و ۱۸/۷۳ درصد رشد کرده‌اند، اما جنگل‌های نیمه‌انبوه، مناطق آبی و پهنه‌های ماسه‌ای به‌ترتیب ۶۱/۳۲، ۴/۹۱ و ۶۱/۴۸ درصد کاهش داشتند. با توجه به نتایج، توجه جدّی به تغییر کاربری اراضی برنج و تخریب جنگل‌ها ضروری می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: حداکثر احتمال، جنگل تنک، طبقه‌بندی نظارت‌شده، کاربری اراضی

مقدمه

برنج چهارمین غله پرمصرف جهان و غذای بیشتر از نصف مردم به‌خصوص در کشورهای در حال توسعه است (Darvishzadeh, Matkan, & Eskandari, 2011; FAO, 2019; Torbick, Chowdhury, Salas, & Qi, 2017). همچنین این محصول یک سوم از کل سطح زیر کشت جهانی غلات را در برداشته که حدود ۳۵ تا ۶۵ درصد کالری مصرفی ۲/۷ میلیارد نفر را تامین می‌کند (Kazemi Posht Mousavi, Pirdashti, Bahmanyar, & Nasiri, 2007). بیشتر از ۹۰ درصد محصول برنج جهان به‌دلیل آب و هوای گرم و مرطوب (عرض جغرافیایی ۵۵ درجه شمالی تا ۳۶ درجه جنوبی) در قاره آسیا تولید می‌شود (Ajith, Geethalakshmi, Ragunath, Pazhanivelan, & Panneerselvam, 2017). سطح زیر کشت برنج در ایران، حدود ۴۳۷۲۳۱ هکتار است (FAO, 2019) که بیشتر این اراضی در استان‌های شمالی، شامل استان‌های مازندران با ۳۸/۵ درصد، گیلان با ۳۱/۹ درصد و گلستان با ۹/۹ درصد قرار دارد. همچنین خوزستان با ۹/۲ درصد و فارس با ۳/۹ درصد در رده‌های بعدی قرار دارند (Izaddoost, Samizadeh, Rabiei, & Abdollahi, 2013). زندگی روستاییان و معیشت آن‌ها، به‌ویژه در نواحی شمالی کشور به کشاورزی وابسته است. استفاده بهینه از زمین‌های زراعی، بذرهای اصلاح شده، ماشین‌آلات، سیلوها، انبارها و غیره نیازمند مدیریت صحیح و دقیق مسئولان کشوری و استانی است. سیاست‌گذاران، با در اختیار داشتن سطح زیرکشت محصولات می‌توانند خدمات و تجهیزات را منطبق با داشته‌های موجود ارائه کنند. همچنین این اطلاعات پتانسیل واقعی نواحی کشاورزی را مشخص کرده و از تغییرات کاربری آن جلوگیری خواهد کرد (Ziaeian Firouzabadi, Sayad Bidhendi, & Eskandari Noudeh, 2009). با توجه به روند رو به رشد جمعیت و افزایش تغییرات کاربری اراضی در بخش کشاورزی، نیاز به اطلاعات دقیق و به‌روز از سطح زیرکشت محصولات، میزان عملکرد محصول در واحد سطح و بررسی تغییرات آن‌ها جهت مدیریت صحیح منابع اجتناب‌ناپذیر است. به‌دست‌آوردن این اطلاعات با استفاده از روش‌های سنتی، زمان زیادی می‌برد و صرفه اقتصادی ندارد (Prasad, Singh, Tare, & Kafatos, 2007; Shen *et al.*, 2009). در ایران، معمولاً تعیین

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
۲- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: rahimi_a@guilan.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jam.2021.69174.1025

سطح زیرکشت محصولات با سه روش کارشناسی، فهرست‌برداری و استفاده از فناوری‌های جدید انجام می‌گیرد. تخمین سطح زیرکشت در روش کارشناسی دارای دقت بسیار اندکی است و نمی‌توان از نتایج آن در تصمیم‌گیری‌های مهم کشور استفاده کرد. در روش برآورد از طریق فهرست‌برداری، هرچند سطح زیرکشت محصول تخمین زده می‌شود، اما پراکندگی آن را نشان نمی‌دهد. همچنین در این روش هزینه نیروی انسانی بسیار بالا خواهد بود. سومین روش، استفاده از فناوری‌های نوینی چون سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی است (Ziaeian Firouzabadi *et al.*, 2009). این روش دارای محاسن فراوان بوده که در روش‌های سنتی قبلی وجود ندارد. علاوه بر مزایای زیاد ذکرشده، این فناوری، نیل به اهداف مدیریت پایدار یعنی هزینه و زمان کمتر تهیه اطلاعات را نیز برآورده می‌سازد (Khatami, Mountrakis, & Stehman, 2016; Weiss, Jacob, & Duveiller, 2020). در دهه‌های گذشته استفاده از سنجش از دور در بخش کشاورزی افزایش یافته و اکنون سنجش از دور به ابزاری موثر و پرکاربرد برای نقشه برداری از محصولات تبدیل شده است (Atzberger, 2013; Chauhan, Darvishzadeh, Boschetti, Pepe, & Nelson, 2019). تعیین عملکرد محصولات، تمایز میان محصولات، تخمین سطح زیر کشت و مدل‌سازی میزان رشد محصول، از جمله کاربردهای سنجش از دور در بخش کشاورزی هستند (Mondal *et al.*, 2014; Singha, Dong, Zhang, & Xiao, 2019). در ادامه به برخی از نتایج مطالعات انجام شده در زمینه استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای تهیه نقشه‌های کاربری اراضی و تعیین سطح زیرکشت محصولات کشاورزی پرداخته شده است.

در پژوهشی از تصاویر سنجنده AVHRR ماهواره NOAA به‌منظور طبقه‌بندی محصول برنج و برآورد سطح زیرکشت آن در استان گیلان استفاده شد. برای این منظور از روش طبقه‌بندی چند زمانه متکی بر استخراج روزانه NDVI بیشینه به منظور حذف ابر استفاد شد. نتایج نشان از دقت ۹۱/۹۶ درصدی سطح زیرکشت محاسبه شده در مقایسه با نقشه مرجع دارد (Ansari Amoli & Alimohammadi Sarab, 2011). در پژوهشی دیگر برای تعیین سطح زیرکشت دو محصول برنج و سویا در چهار حوزه آبخیز استان گلستان از سه روش طبقه‌بندی نظارت شده استفاده شد. نتایج نشان داد که روش‌های طبقه‌بندی حداکثر احتمال[1] و کمترین فاصله از میانگین[2] به‌ترتیب برای تخمین سطح زیرکشت برنج و سویا روش مناسبی هستند (Dashti Marvili, Kamkar, & Kazemi, 2019). نتایج تحقیق دیگری حاکی از آن بود که سطح زیر کشت محاسبه شده با استفاده از دو روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال و شبکه عصبی به‌ترتیب با اختلاف ۱۶/۸ و ۱۴/۲ درصدی می‌توانند مساحت محصولات مختلف را تخمین بزنند (Alipour, Aghkhani, Abasspour-Fard, & Sepehr, 2014). در پژوهشی دیگر به منظور برآورد سطح زیرکشت باغات از داده‌های IRS-P6 استفاده شد. طبقه‌بندی داده‌ها با الگوریتم‌های مختلف و به دو صورت هفت کلاسه (طبقات کاربری اراضی) و دو کلاسه (باغ و غیر باغ) انجام شد. نتایج نشان داد که الگوریتم حداکثر احتمال در طبقه‌بندی به صورت هفت‌کلاسه و دو کلاسه دارای بیشترین صحت کلّی[3] و ضریب کاپا[4] بودند (Younesi, Ahmadi Sani, & Sharafi, 2019). در تحقیق رابطه رگرسیونی بین چندین شاخص پوشش گیاهی (NDVI[5]، SAVI[6]، DVI[7] و RVI[8]) استخراج شده از تصاویر ماهواره لندست ۷ و عملکرد برنج در سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳ ارزیابی شد. مقایسه مدل‌های تولیدی نشان از برتری شاخص NDVI داشت (Yaghouti, Pazira, Amiri, & Masihabadi, 2018). تصاویر چند زمانه ماهواره لندست ETM^+ به منظور تعیین سطح زیرکشت و سن گیاه برنج در منطقه بالی اندونزی استفاده شد. برای این منظور شاخص جدیدی به نام RGVI[9] توسعه داده شد (Nuarsa, Nishio, & Hongo, 2010). در پژوهش دیگری نتیجه شد که از بین شاخص‌های پوشش گیاهی، شاخص RGVI بیشترین همبستگی را با عملکرد برنج داشته و با آن می‌توان عملکرد شالیزارهای برنج طی ۳۰ تا ۶۰ روز قبل از برداشت را پیش‌بینی کرد (Paul, Saha, & Hembram, 2020). تحقیقی به منظور شناسایی محصولات با استفاده از تصاویر ماهواره SPOT 5 انجام گرفت. در این تحقیق از پنج روش طبقه‌بندی برای شناسایی انواع محصولات استفاده شد. نتایج نشان داد که دو روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال و ماشین‌های پشتیبان بردار[10] از دیگر روش‌های مطالعه شده بهتر هستند (Yang, Everitt, & Murden, 2011). در تحقیقی دیگر از تصاویر TM ماهواره لندست به منظور طبقه‌بندی کاربری اراضی استفاده شد. در این تحقیق از روش‌های نظارت‌نشده و سیزده مورد از روش‌های نظارت‌شده برای طبقه‌بندی استفاده شد. نتایج نشان داد زمانی که نمونه آموزشی به تعداد مناسب انتخاب شود، اکثر الگوریتم‌ها عملکرد خوبی دارند اما زمانی که تعداد نمونه‌های آموزشی کاهش می‌یابد، اختلاف دقت میان الگوریتم‌ها افزایش می‌یابد (Li, Wang, Wang, Hu, & Gong, 2014). در پژوهشی از داده‌های چند زمانه سنجنده

1- Maximum Likelihood
2- Minimum Distance

3- Overall Accuracy
4- Kappa Coefficient
5- Normalized Difference Vegetation Index
6- Soil Adjusted Vegetation Index
7- Difference Vegetation Index
8- Ratio Vegetation Index
9- Rice Growth Vegetation Index
10- Support Vector Machine

OLI ماهواره لندست ۸ برای تعیین بهترین شاخص استخراج آب به منظور نظارت بر مناطق کشت برنج در ژاپن استفاده شد. پس از مقایسه شش شاخص، شاخص NDWI-GS1[1] که از باندهای سبز و مادون قرمز با طول موج کوتاه استفاده می‌کند بهترین عملکرد و کمترین میزان خطا در برآورد مناطق کشت برنج را داشت (Sakamoto, Sprague, Okamoto, & Ishitsuka, 2018).

در سال‌های اخیر، پایش وضعیت سطح زیر کشت برنج، به‌عنوان یک محصول استراتژیک در استان گیلان، اهمیت بیشتری پیدا کرده است. دلیل این امر، رشد مناطق ساحلی و توریستی استان و مهاجرت بی‌رویه و کنترل نشده ساکنین استان‌های جنوبی کشور به این مناطق می‌باشد که اخیراً به‌دلیل پدیده خشکسالی در جنوب رشد بیشتری داشته‌است. این قبیل مهاجرت‌ها به شدت سبب تغییر و تبدیل اراضی کشاورزی به مناطق مسکونی شده است. علاوه بر این، شیوع پدیده‌ی ویلاسازی، چه توسط شهرنشین‌های بومی استان و چه توسط اهالی استان‌های پرجمعیت و صنعتی اطراف، منجر به تغییر کاربری بسیاری از اراضی، به‌خصوص اراضی شالیزاری توسط روستاییان شده است. روند این تغییرات در سال‌های اخیر به حدی چشمگیر بوده است که تبدیل به یکی از معضلات اصلی استان‌های شمالی کشور شده است، به‌طوری که توجه بسیاری از مسئولین استان را به خود معطوف کرده است. واضح است، قدم اول در مدیریت و کنترل معضل به‌وجود آمده، امکان رصد وضعیت موجود و بررسی روند این تغییرات در چند دهه‌ی اخیر می‌باشد. هدف اصلی این مطالعه، بررسی سطح زیر کشت برنج در طی یک فاصله زمانی ۲۰ ساله، بین سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹ در بخش کیاشهر از شهرستان آستانه اشرفیه در استان گیلان با استفاده از فناوری سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی و مقایسه این تغییرات است. گفتنی است، این بخش یکی از مناطق ساحلی و گردشگری استان گیلان بوده و به جهت وجود پارک ملی بوجاق به‌عنوان یکی از زیستگاه‌های ارزشمند حیات وحش حائز اهمیت بین‌المللی می‌باشد. از اهداف فرعی تحقیق، بررسی تغییر کاربری سایر اراضی، شامل اراضی جنگلی، مسکونی، آبی و پهنه‌های ماسه‌ای و میزان تبدیل آن‌ها به یکدیگر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

بندر کیاشهر، شهری در فاصله ۱۷ کیلومتری آستانه‌اشرفیه است که با وسعت نزدیک به ۱۷۰ کیلومتر مربع، در شمال استان گیلان و در طول جغرافیایی ″۳۲/۶۴ ′۵۳ °۴۹ تا ″۱۵/۳۶ ′۱۱ °۵۰ شرقی و عرض جغرافیایی ″۱۶/۳۲ ′۱۹ °۳۷ تا ″۲۰/۶۴ ′۲۸ °۳۷ شمالی واقع شده است (شکل ۱). ارتفاع متوسط این منطقه، ۲۶ متر پایین‌تر از سطح آب‌های آزاد است. میانگین سالیانه دما °۱۶/۷۱ سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالیانه آن ۱۳۵۶/۳۸ میلی‌متر است. میانگین حداکثر دما در گرم‌ترین ماه‌های سال (تیر و مرداد) °۳۳ سانتی‌گراد و متوسط حداقل دما در سردترین ماه‌های سال (دی و بهمن) °۰/۴ سانتی‌گراد بوده است (Naghinezhad, Saeidi Mehrvarz, Norouzi, & Faridi, 2006).

داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق، از تصاویر سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ سنجنده‌ی TM، ماهواره لندست ۵ و تصویر ۲۰۲۰ سنجنده‌ی OLI ماهواره لندست ۸ به منظور تهیه نقشه‌های کاربری اراضی استفاده شد (http://earthexplorer.usgs.gov). تصاویر، برمبنای میزان کمترین درصد ابرناکی و تقویم رشد محصول برنج در منطقه مورد مطالعه، از سایت زمین‌شناسی آمریکا دریافت شد (جدول ۱). همچنین، در این مطالعه از نقشه‌های کاربری اراضی تهیه شده در قالب شیپ فایل[2]، که در دهه‌ی ۱۳۸۰ تهیه شده بود و نیز نقشه گوگل ارث[3] برای تعیین نقاط کنترل زمینی و تصحیح هندسی تصاویر ماهواره‌ای استفاده گردید. به منظور پردازش تصاویر ماهواره‌ای، یافتن بهترین ترکیب باندی، تعیین نقاط تعلیمی و تهیه نقشه‌های کاربری مربوط به هر سال از نرم‌افزارهای ENVI 5.3، ILWIS 3.3، Google Earth Pro 7.3.2 و Arc GIS 10.4 استفاده شد.

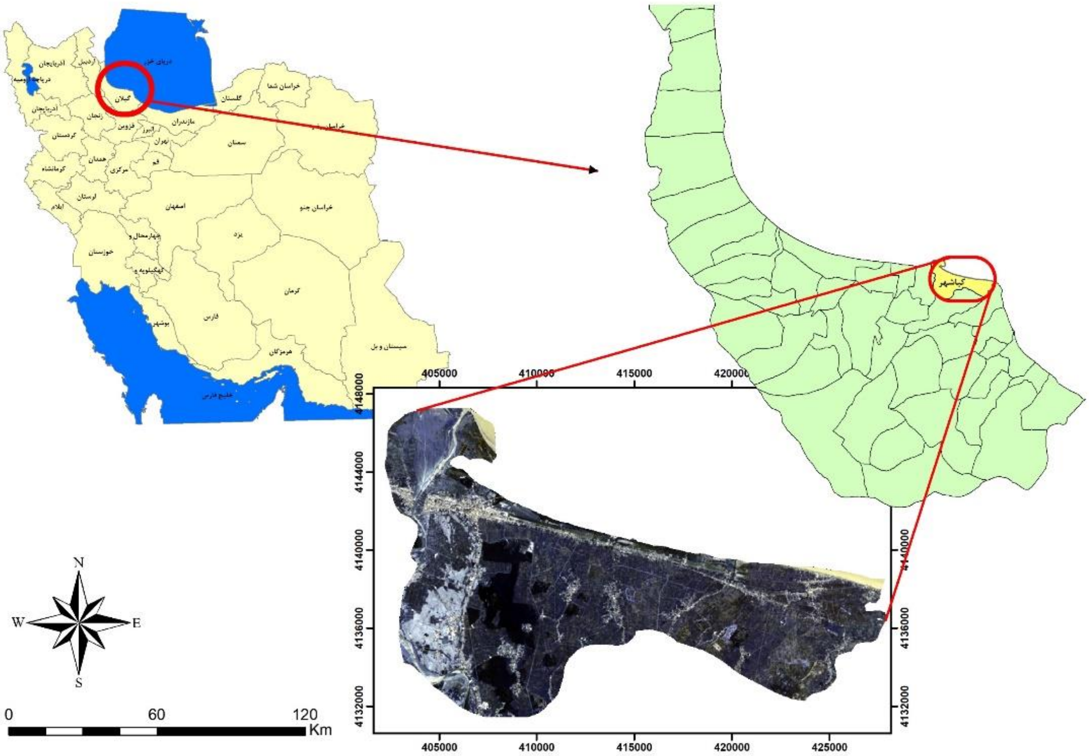
پیش‌پردازش تصاویر

در این مرحله، تصاویر از نظر هندسی، اتمسفری و رادیومتریک تصحیح شدند. ابتدا تصحیح هندسی بر روی تصاویر صورت گرفت. لازم به ذکر است تصاویر اخذ شده از سایت USGS که با پسوند L1T تهیه شده‌اند، دارای تصحیحات هندسی می‌باشند، اما از آنجا که هدف این مطالعه مقایسه تصاویر چندزمانه می‌باشد، برای انطباق کامل تصاویر سه سال تصویر سال ۲۰۲۰ به دلیل دقت بالاتر آن، به‌عنوان تصویر مرجع در نظر گرفته شد و دو تصویر ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ با روش تصویر به تصویر[4] با تصویر ۲۰۲۰ زمین‌مرجع شدند. همچنین، به دلیل اثرات جو بر روی میزان انرژی ثبت شده توسط سنجنده، برای تحلیل داده‌های تصویر می‌بایست اثر جو درصورت امکان تعدیل می‌شد. دراین تحقیق، به دلیل آن‌که ماهیت پردازش صورت گرفته، طبقه‌بندی بود، اثرات جو بر روی نتایج تأثیر قابل‌توجهی نداشت. بنابراین از روش تصحیح اتمسفریک ساده تفریق پیکسل‌های تاریک[5]

1- Normalized Difference Water Index (Spectral bands: Green and SWIR1)

2- Shape file
3- Google Earth
4- Image to Image
5- Dark Subtraction

استفاده شد.



شکل ۱– منطقه مورد مطالعه

Fig.1. Location of the study area

جدول ۱– مشخصات تصاویر مورد استفاده در طبقه‌بندی

Table 1- Characteristics of the images used in the classification

Satellite ماهواره	**Sensor سنجنده**	**Date تاریخ**
Landsat5 لندست۵	TM	06/06/2000
Landsat5 لندست۵	TM	02/06/2010
Landsat8 لندست۸	OLI	13/06/2020

در حالت ایده‌ال، پدیده‌های تیره دارای تابش صفر در همـه طـول موج‌ها هستند. در این روش فرض می‌شود که در هر بانـد از تصـویر، می‌توان پیکسل‌هایی مانند آب یافت که مقادیر بازتابندگی آن‌ها صـفر یا نزدیک به صفر باشد. به این ترتیب اثر پخش جوی به صورت مقدار ثابت به پیکسل‌ها در هر باند اضافه می‌گردد. به همـین جهـت بـرای حذف خطاهای اتمسفریک، باید مقدار ثابتی از ارزش پیکسل‌های هـر باند کم شود (Bagan & Yamagata, 2012).

برای تشکیل تصویر با بیشترین قـدرت تفکیـک و نمـایش بهتـر تغییرات منطقه مورد مطالعه، از شاخص OIF[1] بـرای تعیـین بهتـرین ترکیب باندی استفاده شد. بیشترین میزان OIF برای تصاویر مربـوط به هر سال، در جدول ۲ آورده شده است.

طبقه‌بندی تصاویر

برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، از طبقه‌بندی نظـارت شـده و به روش حداکثر احتمال استفاده شد. روش حـداکثر احتمـال، یکـی از دقیق‌ترین روش‌های طبقه‌بندی در اکثر تحقیقات گزارش شده اسـت (Hopkins, Maclean, & Lillesand, 1988; Richards & Richards, 1999). در این روش، احتمال این‌که یک پیکسل بتوانـد به هر یک از کلاس‌های موجود تعلق یابد محاسبه می‌شـود و سـپس پیکسل به کلاسی که بیشـترین احتمـال را دارد، اختصـاص مـی‌یابـد (Godarzi Mehr, Abbaspour, Ahadnezhad, & Khakbaz, 2012). برای محدوده‌ی مورد مطالعه هفـت کـاربری شـامل اراضـی برنج، جنگل نیمه‌انبوه، جنگل تنک، منـاطق مسـکونی، منـاطق آبـی،

1- Optimum Index Factor

پهنه‌های ماسه‌ای و سایر اراضی تعیین گردید. با استفاده از نرم‌افزار گوگل ارث و نقشه‌های موجود از کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، و به‌کارگیری طبقه‌بندی نظارت‌شده به روش حداکثر احتمال، نقشه‌های کاربری اراضی برای سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ تهیه شد.

جدول ۲- نتایج حاصل از شاخص OIF

Table 2- Results from the OIF index

سال Year	ترکیب باندی Bands	مقدار شاخص Index value
2000	1,4,5	62.29
2010	1,4,5	62.93
2020	4,5,7	8104.94

اعتبارسنجی و ارزیابی صحت طبقه‌بندی

جهت ارزیابی دقت طبقه‌بندی، از نمونه‌های تعلیمی‌ای استفاده شد که در روند طبقه‌بندی دخالت داده نشده‌بودند. برای هر یک از کلاس‌ها، ۷۵ درصد پیکسل‌ها به‌عنوان نمونه‌های آموزشی در طبقه‌بندی مورد استفاده قرار گرفتند و ۲۵ درصد مابقی پیکسل‌ها به‌عنوان نمونه‌های اعتبارسنجی در نظرگرفته شدند. ارزیابی دقت و صحت نقشه‌های طبقه‌بندی شده با استفاده از پارامترهای دقت کلی، ضریب کاپا، دقت تولیدکننده[1]، دقت کاربر[2]، خطای اضافه[3] و خطای حذف[4] انجام گرفت. دقت کلّی، میانگینی از دقت طبقه‌بندی است و از نسبت تعداد پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده به کل پیکسل‌های طبقه‌بندی شده در تمام طبقات به‌دست می‌آید. یکی دیگر از پارامترهای دقت که از ماتریس خطا استخراج می‌شود ضریب کاپا است که دقت طبقه‌بندی را نسبت به یک طبقه‌بندی کاملا تصادفی محاسبه می‌کند (Mather & Tso, 2016). مزیّت ضریب کاپا نسبت به دقت کلّی، در استفاده از مقادیر حاشیه‌ای ماتریس خطا برای محاسبه دقت است. علاوه‌بر آن، دقت کلّی یک برآورد خوش‌بینانه است و همیشه دقّت را بالاتر از مقدار واقعی محاسبه می‌کند. از طرفی، دقت کلّی و ضریب کاپا با تمام طبقات سر و کار دارند و اطلاعاتی درباره هر کلاس نمی‌دهند. برای محاسبه دقت در هر کلاس مجزا، باید از پارامترهایی نظیر دقّت کاربر و دقّت تولیدکننده استفاده شود. در جدول ماتریس خطا، خطای حذف و اضافه نیز بیان می‌گردد. خطای اضافه عبارت است از درصدی از پیکسل‌ها که متعلق به کلاس مورد نظر نبوده، ولی در آن کلاس قرارگرفته‌اند. خطای حذف، درصدی از پیکسل‌ها هستند که در اصل، متعلق به کلاس موردنظر بوده، ولی به اشتباه در کلاس دیگر قرارگرفته‌اند (Alipour *et al*., 2014).

1- Producer Accuracy
2- User Accuracy
3- Commission
4- Omission

نتایج و بحث

ماتریس‌های خطای طبقه‌بندی در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰، شامل مقادیر دقّت کلّی، ضریب کاپا، خطای اضافه، خطای حذف، صحّت تولیدکننده و صحّت کاربر، به‌ترتیب در جداول ۳ تا ۵ نشان داده شده‌اند.

با توجه به جداول ۳ تا ۵ مشاهده می‌شود که پیکسل‌های طبقه اراضی برنج از سایر طبقات به‌خوبی قابل تفکیک بوده و این امر ناشی از یکپارچگی، فشردگی و گستردگی کلاس اراضی برنج در منطقه است. به‌طور کلی هرچه که مزارع برنج متراکم‌تر بوده و فضای خالی در میان آن‌ها کمتر باشد، طبقه‌بندی تصویر از دقت بالاتری برخوردار خواهد بود. همچنین میزان دقّت کلّی برای سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ به‌ترتیب برابر با ۹۸/۴۵، ۹۷/۵۹ و ۹۸/۷۲ درصد است. میزان ضریب‌کاپا برای سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ نیز به‌ترتیب برابر با ۰/۹۸۱، ۰/۹۷۰ و ۰/۹۸۴ است. نتایج حاصل از دقت کلی و ضریب کاپا در هر سال، نشان از دقت بالای طبقه‌بندی دارد. بالاتر بودن ضریب کاپا در تصاویر جدیدتر به‌دلیل وجود نمونه‌های کنترل زمینی نزدیک‌تر از نظر زمانی به این سال‌ها و قدرت تفکیک بیشتر این تصاویر می‌باشد. نقشه‌های کاربری اراضی تولیدشده، در شکل‌های ۲ تا ۴ به نمایش درآمده است. همچنین، مقادیر مربوط به مساحت هر یک از کاربری‌ها بر حسب هکتار و درصد در جدول ۶ ارائه شده است.

در جدول ۷ میزان تغییرات هر یک از کاربری‌ها در طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰، ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ و ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ مورد بررسی قرار گرفته است. اراضی برنج در سال ۲۰۰۰ با مساحت ۱۱۰۸۰/۶۶ هکتار حدود ۵۸ درصد از کل کاربری‌های این منطقه را دربر می‌گیرد. مساحت این اراضی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ کاهش ۴/۴۲ درصدی داشته است. همچنین در سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ با کاهش ۲/۶۴ درصدی رو به رو بوده است. در مجموع اراضی برنج از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ با کاهش ۶/۹۴ درصدی همراه بوده و مساحت آن به

۱۰۳۱۱/۶۹ هکتار رسیده است. افزایش تورم و قیمت زمین‌های زراعی، همچنین رشد جمعیت و ورود غیر بومیان به منطقه را می‌توان یکی از دلائل تغییر کاربری اراضی زراعی به مسکونی دانست.

مساحت کاربری جنگل نیمه‌انبوه بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰، ۴۷/۴۸ درصد کاهش داشته است، اما بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰، روند نزولی آن کاهش یافته و برابر با ۲۶/۳۶ درصد شده است. در مجموع بین دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰، ۱۶۸۲/۲۵ هکتار، معادل ۶۱/۳۲ درصد از اراضی جنگل‌های نیمه‌انبوه کاهش یافته است. این اتفاق به‌دلیل برش بی‌رویه درختان و تغییر کاربری اراضی جنگل‌های نیمه‌انبوه به جنگل‌های تنک و مناطق مسکونی است. همچنین بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ مساحت جنگل‌های تنک ۲۸/۰۳ درصد رشد داشته است که به دلیل کاهش وسعت جنگل‌های نیمه‌انبوه است. اما بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰، با کاهش ۷/۲۶ درصدی همراه بوده است که می‌تواند به دلیل تغییر کاربری به اراضی مسکونی باشد. در مجموع در این مدت ۲۷۹/۱۸ هکتار معادل ۱۸/۷۳ درصد از جنگل‌های تنک افزایش داشته است. بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ مساحت اراضی مسکونی ۳۲/۷۸ درصد رشد داشته است. همچنین در سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ مساحت آن با ۲۶/۴۸ درصد افزایش همراه بوده است. در مجموع مساحت مناطق مسکونی ۱۶۹۵/۸۴ هکتار معادل ۶۷/۹۴ درصد رشد داشته است. این رشد می‌تواند ناشی از افزایش جمعیت در منطقه، مهاجرت روستاییان به شهرها و در نتیجه تغییر کاربری اراضی زراعی و جنگلی به مناطق مسکونی باشد. پهنه‌های ماسه‌ای در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ با کاهش مساحت به میزان ۵۸/۵۶ درصد رو به رو بوده است. همچنین بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰، ۷/۰۵ درصد کاهش داشته است. در مجموع مساحت کاربری پهنه‌های ماسه‌ای بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰، ۱۴۳/۱۵ هکتار، معادل ۶۱/۴۸ درصد کاهش داشته است. این روند نزولی همراه با افزایش ساخت و سازها در مناطق ساحلی همراه بوده است.

جدول ۳- ماتریس خطای طبقه‌بندی تصویر به روش حداکثر احتمال (سال ۲۰۰۰)

Table 3- The classification error matrix of image using maximum likelihood method (2000)

	اراضی برنج Rice lands	**جنگل‌های نیمه‌انبوه Semi-dense forests**	**جنگل‌های تنک Sparse forests**	**مناطق مسکونی Built-up areas**	**مناطق آبی Water body**	**پهنه‌های ماسه‌ای Sand areas**	**سایر Other**	**کل Total**
اراضی برنج Rice lands	108	0	0	0	0	0	0	108
جنگل‌های نیمه‌انبوه Semi-dense forests	0	50	0	0	0	0	0	50
جنگل‌های تنک Sparse forests	0	0	55	0	0	0	0	55
مناطق مسکونی Built-up areas	0	0	0	52	0	0	0	52
مناطق آبی Water body	0	0	0	0	28	0	0	28
پهنه‌های ماسه‌ای Sand areas	0	0	0	0	0	63	7	70
سایر Other	0	0	0	0	0	0	89	89
کل Total	108	50	55	52	28	63	96	452
خطای اضافه (٪) Commission (%)	0	0	0	0	0	10	0	
خطای حذف (٪) Omission (%)	0	0	0	0	0	0	7.29	
صحت تولیدکننده (٪) Producer Accuracy (%)	100	100	100	100	100	100	92.71	
صحت کاربر (٪) User Accuracy (%)	100	100	100	100	100	90	100	
ضریب کاپا Kappa Coefficient = (0.981)				دقت کلی Overall Accuracy = (98.45 %)				

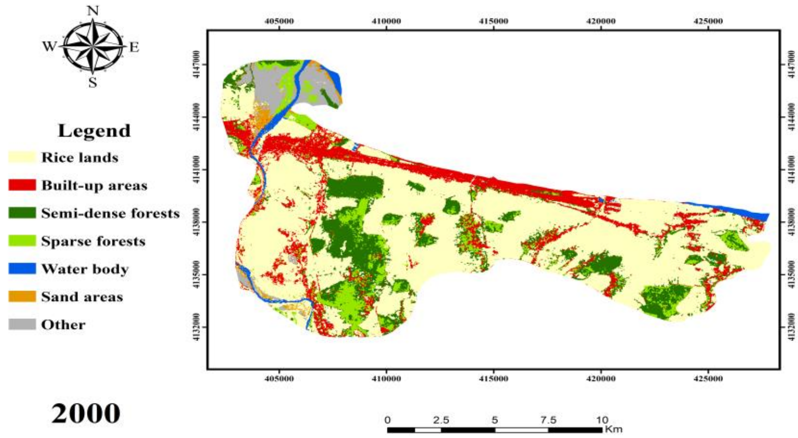
جدول ٤- ماتریس خطای طبقه‌بندی تصویر به روش حداکثر احتمال (سال ۲۰۱۰)

Table 4- The classification error matrix of image using maximum likelihood method (2010)

	اراضی برنج **Rice lands**	جنگل‌های نیمه‌انبوه **Semi-dense forests**	جنگل‌های تنک **Sparse forests**	مناطق مسکونی **Built-up areas**	مناطق آبی **Water body**	پهنه‌های ماسه‌ای **Sand areas**	سایر **Other**	کل **Total**
اراضی برنج Rice lands	82	0	0	2	0	0	0	84
جنگل‌های نیمه‌انبوه Semi-dense forests	0	111	0	0	0	0	0	111
جنگل‌های تنک Sparse forests	0	6	52	0	0	0	0	58
مناطق مسکونی Built-up areas	0	0	0	46	0	1	0	47
مناطق آبی Water body	0	0	0	0	31	0	0	31
پهنه‌های ماسه‌ای Sand areas	0	0	0	2	0	18	0	20
سایر Other	0	0	0	0	0	0	107	107
کل Total	82	117	52	50	31	19	107	458
خطای اضافه (٪) Commission (%)	2.38	0	10.34	2.13	0	10	0	
خطای حذف (٪) Omission (%)	0	5.13	0	8	0	5.26	0	
صحت تولیدکننده (٪) Producer Accuracy (%)	100	94.87	100	92	100	94.74	100	
صحت کاربر (٪) User Accuracy (%)	97.62	100	89.66	97.87	100	90	100	

ضریب کاپا Kappa Coefficient = (0.970) — دقت کلی Overall Accuracy = (97.59 %)

بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ مساحت مناطق آبی ۲/۵۳ درصد رشد داشته است، اما در سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ با کاهش ۷/۲۵ درصدی همراه بوده و در مجموع در این بازه ۲۰ ساله مساحت مناطق آبی ۱۹/۲۸ هکتار، معادل ۴/۹۱ درصد کاهش داشته است.



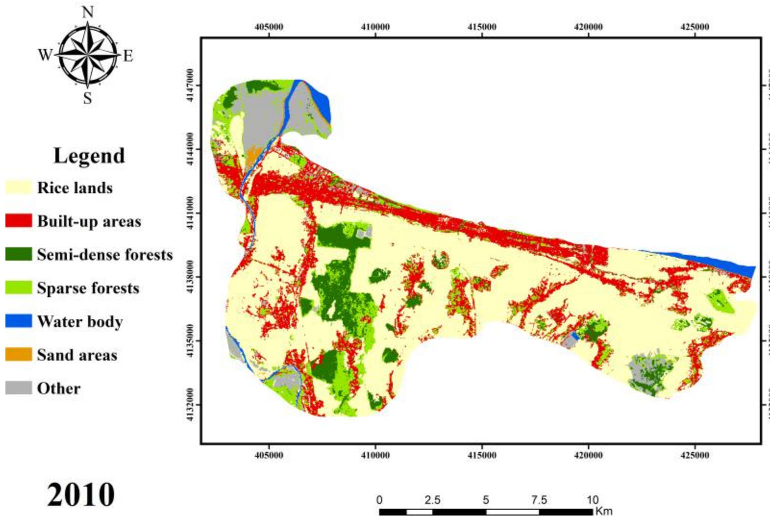
شکل ۲- نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۰۰

Fig.2. Land use map of 2000

جدول ۵- ماتریس خطای طبقه‌بندی تصویر به روش حداکثر احتمال (سال ۲۰۲۰)

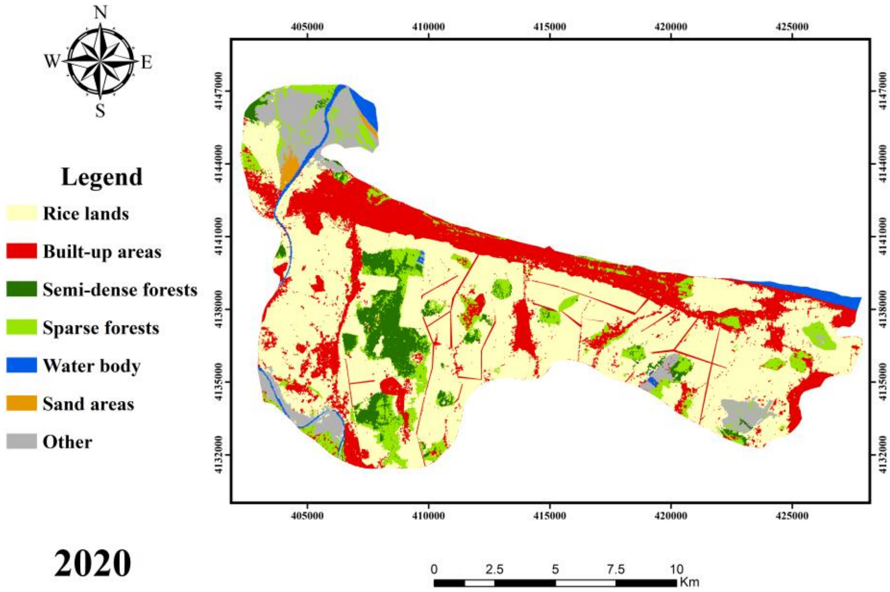
Table 5- The classification error matrix of image using maximum likelihood method (2020)

	اراضی برنج Rice lands	جنگل‌های نیمه‌انبوه Semi-dense forests	جنگل‌های تنک Sparse forests	مناطق مسکونی Built-up areas	مناطق آبی Water body	پهنه‌های ماسه‌ای Sand areas	سایر Other	کل Total
اراضی برنج Rice lands	116	0	0	0	0	0	0	116
جنگل‌های نیمه‌انبوه Semi-dense forests	0	48	0	0	0	0	0	48
جنگل‌های تنک Sparse forests	0	1	36	0	0	0	0	37
مناطق مسکونی Built-up areas	0	0	0	43	0	1	3	47
مناطق آبی Water body	0	0	0	0	53	0	0	53
پهنه‌های ماسه‌ای Sand areas	0	0	0	0	0	18	0	18
سایر Other	0	0	0	0	0	0	73	73
کل Total	116	49	36	43	53	19	76	392
خطای اضافه (٪) Commission (%)	0	0	2.7	8.51	0	0	0	
خطای حذف (٪) Omission (%)	0	2.04	0	0	0	5.26	3.95	
صحت تولیدکننده (٪) Producer Accuracy (%)	100	97.96	100	100	100	94.74	96.05	
صحت کاربر (٪) User Accuracy (%)	100	100	97.30	91.49	100	100	100	
ضریب کاپا Kappa Coefficient = (0.984)					دقت کلی Overall Accuracy = (98.72 %)			



شکل ۳- نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۰

Fig.3. Land use map of 2010



شکل ٤- نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۲۰

Fig.4. Land use map of 2020

جدول ٦- مساحت هر کاربری در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰

Table 6- Area of each land use in 2000, 2010 and 2020

	2000		**2010**		**2020**	
	مساحت Area (ha)	**مساحت Area (%)**	**مساحت Area (ha)**	**مساحت Area (%)**	**مساحت Area (ha)**	**مساحت Area (%)**
اراضی برنج Rice lands	11080.66	57.78	10590.85	55.22	10311.69	53.77
جنگل‌های نیمه‌انبوه Semi-dense forests	2743.19	14.30	1440.66	7.51	1060.94	5.53
جنگل‌های تنک Sparse forests	1490.58	7.78	1908.34	9.95	1769.76	9.23
مناطق مسکونی Built-up areas	2496.09	13.01	3314.24	17.29	4191.93	21.86
مناطق آبی Water body	392.74	2.05	402.66	2.1	373.46	1.95
پهنه‌های ماسه‌ای Sand areas	232.84	1.21	96.50	0.50	89.7	0.47
سایر Other	741.63	3.87	1424.47	7.43	1380.26	7.19

جدول ۷- تغییرات مساحت هر یک از کاربری‌ها در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰

Table 7- Changes in the area of each land use in 2000, 2010 and 2020

	2000-2010		2010-2020		2000-2020	
	مساحت Area (ha)	مساحت Area (%)	مساحت Area (ha)	مساحت Area (%)	مساحت Area (ha)	مساحت Area (%)
اراضی برنج Rice lands	-489.81	-4.42	-279.16	-2.64	-768.97	-6.94
جنگل‌های نیمه‌انبوه Semi-dense forests	-1302.53	-47.48	-379.71	-26.36	-1682.25	-61.32
جنگل‌های تنک Sparse forests	417.76	28.03	-138.58	-7.26	279.18	18.73
مناطق مسکونی Built-up areas	818.16	32.78	877.68	26.48	1695.84	67.94
مناطق آبی Water body	9.92	2.53	-29.20	-7.25	-19.28	-4.91
پهنه‌های ماسه‌ای Sand areas	-136.34	-58.56	-6.81	-7.05	-143.15	-61.48
سایر Other	682.84	92.07	-44.22	-3.10	638.63	86.11

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر، به بررسی روند تغییرات کاربری‌های اراضی مختلف به‌ویژه سطح زیر کشت برنج در بخش کیاشهر شهرستان آستانه پرداخته شد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، میزان نرخ تغییرات کاربری برای کلاس‌های شالیزار و جنگل نیمه‌انبوه در بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ کمتر از دوره ده ساله قبل از آن بود که این کاهش روند را می‌توان به اتخاذ قوانین بازدارنده و نظارت بیشتر سازمان‌های ذیربط مربوط دانست. اگرچه میزان کاهش این کاربری‌ها در دهه‌ی گذشته همچنان ادامه داشته است. در این میان، افزایش ۶۷/۹۴ درصدی اراضی مسکونی گویای این مطلب است که اراضی از دست‌رفته در بخش جنگلی و شالیزاری تبدیل به مسکونی شده‌اند. نرخ تغییر کاربری در بخش مسکونی (با نادیده گرفتن کاربری سایر) بالاترین میزان را در بین کلاس‌های مورد بررسی داشته است.این نتیجه، لزوم توجه جدی به تغییرات کاربری در حوزه روستایی را بیش از پیش نشان می‌دهد. نکته دیگر، رشد مساحت جنگل‌های تنک بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ و بعد روند معکوس آن بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ است که این نشان می‌دهد، در یک دوره ۱۰ ساله اقدام به تخریب جنگل‌ها شده و در دوره ده ساله بعد زمین‌های حاصل از این تخریب‌ها به کاربری مسکونی تغییر یافته است. در نتیجه، لزوم توجه جدی ادارات و سازمان‌های منابع طبیعی به تخریب عمدی جنگل‌ها در طول زمان، با هدف تغییر کاربری آن‌ها به مسکونی و فروش آن ضروری به نظر می‌رسد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که می‌توان از فناوری سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی به‌عنوان روشی دقیق، قابل اطمینان و سریع برای مطالعه و بررسی، شناسایی و مقایسه کاربری‌های اراضی و تغییرات آن‌ها، به‌خصوص کاربری زراعی و جنگل‌ها استفاده کرد.

سپاسگزاری

نویسندگان از حمایت مالی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری و پارک علم و فناوری گیلان از این پایان‌نامه در قالب کد اعتباری ۲۶-۰۰-۰۱-۰۰۰۷۴۳ قدردانی می‌نمایند.

References

1. Ajith, K., Geethalakshmi, V., Ragunath, K., Pazhanivelan, S., & Panneerselvam, S. (2017). Rice Acreage Estimation in Thanjavur, Tamil Nadu Using Lands at 8 OLIIMAGES and GIS Techniques. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, *6*, 2327-2335. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.607.275
2. Alipour, F., Aghkhani, M., Abasspour-Fard, M., & Sepehr, A. (2014). Demarcation and estimation of agricultural lands using etm+ imagery data (case study: Astan ghods razavi great farm). *Journal of Agricultural Machinery*, *4*,

244-254. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/JAM.V4I2.34827

3. Ansari Amoli, A., & Alimohammadi Sarab, A. (2011). Rice area estimation by using multi-temporal classification method and AVHRR data. *Spatial Planning (Modares Human Sciences), 15*, 1-16. (in Persian).
4. Atzberger, C. 2013. Advances in remote sensing of agriculture: Context description, existing operational monitoring systems and major information needs. *Remote Sensing, 5*, 949-981. https://doi.org/10.3390/rs5020949
5. Bagan, H., & Yamagata, Y. 2012. Landsat analysis of urban growth: How Tokyo became the world's largest megacity during the last 40 years. *Remote Sensing of Environment, 127*, 210-222. https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.09.011
6. Chauhan, S., Darvishzadeh, R., Boschetti, M., Pepe, M., & Nelson, A. (2019). Remote sensing-based crop lodging assessment: Current status and perspectives. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 151*, 124-140. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.03.005
7. Darvishzadeh, R., Matkan, A. A., & Eskandari, N. (2011). Evaluation of ALOS-AVNIR2 spectral indices for prediction of rice biomass. *Journal of Geographical Landscape, 6*, 11-14. (in Persian).
8. Dashti Marvili, M., Kamkar, B., & Kazemi, H. (2019). Detection of rice and soybean grown fields and their related cultivation area using Sentinel-2 satellite images in summer cropping patterns to analyze temporal changes in their cultivation area (Case study: four watershed basins of Golestan Province). *Journal of Water and Soil Conservation (Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources), 26*, 151-167. (in Persian).
9. FAO. 2019. Food and agriculture organization of the United Nations. FAOSTAT: Crops. http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC.
10. Godarzi Mehr, S., Abbaspour, R. A., Ahadnezhad, V., & Khakbaz, B. (2012). Comparison of support vector machine, neural network, and maximum likelihood methods for the separation of lithological units. *Iranian Journal of Geology, 6*, 75-92. (in Persian).
11. Hopkins, P. F., Maclean, A., & Lillesand, T. (1988). Assessment of Thematic Mapper imagery for forestry applications under Lake States conditions. Photogrammetric Engineering and Remote sensing (USA).
12. Izaddoost, H., Samizadeh, H., Rabiei, B., & Abdollahi, S. (2013). Evaluation of salt tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) cultivars and lines with emphasis on stress tolerance indices. *Cereal Research, 3*, 167-180. (in Persian). https://doi.org/20.1001.1.22520163.1392.3.3.1.2
13. Kazemi Posht Mousavi, H., Pirdashti, H. A., Bahmanyar, M. A., & Nasiri, M. (2007). Study the effects of nitrogen fertilizer rates and split application on yield and yield components of different rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. *Pajouhesh-va-Sazandegi, 20*, 68-77. (in Persian).
14. Khatami, R., Mountrakis, G., & Stehman, S. V. (2016). A meta-analysis of remote sensing research on supervised pixel-based land-cover image classification processes: General guidelines for practitioners and future research. *Remote Sensing of Environment, 177*, 89-100. https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.02.028
15. Li, C., Wang, J., Wang, L., Hu, L., & Gong, P. (2014). Comparison of classification algorithms and training sample sizes in urban land classification with Landsat thematic mapper imagery. *Remote Sensing, 6*, 964-983. https://doi.org/10.3390/rs6020964
16. Mather, P., & Tso, B. (2016). *Classification methods for remotely sensed data*. CRC press. https://doi.org/10.1201/9781420090741
17. Mondal, S., Jeganathan, C., Sinha, N. K., Rajan, H., Roy, T., & Kumar, P. (2014). Extracting seasonal cropping patterns using multi-temporal vegetation indices from IRS LISS-III data in Muzaffarpur District of Bihar, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 17*, 123-134. https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2014.09.002
18. Naghinezhad, A. R., Saeidi Mehrvarz, S., Norouzi, M., & Faridi, M. (2006). Contribution to the vascular and bryophyte flora as well as habitat diversity of the boujagh national park, n. Iran. *Rostaniha, 7*, 83-105. (in Persian).
19. Nuarsa, I., Nishio, F., & Hongo, C. (2010). Development of the empirical model for rice field distribution mapping using multi-temporal Landsat ETM+ data: case study in Bali Indonesia. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, XXXVIII, part 8.
20. Paul, G. C., Saha, S., & Hembram, T. K. (2020). Application of phenology-based algorithm and linear regression model for estimating rice cultivated areas and yield using remote sensing data in Bansloi River Basin, Eastern India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment, 19*, 100367. https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100367
21. Prasad, A., Singh, R., Tare, V., & Kafatos, M. (2007). Use of vegetation index and meteorological parameters for the prediction of crop yield in India. *International Journal of Remote Sensing, 28*, 5207-5235. https://doi.org/10.1080/01431160601105843
22. Richards, J. A., & Richards, J. (1999). Remote sensing digital image analysis. Springer.
23. Sakamoto, T., Sprague, D. S., Okamoto, K., & Ishitsuka, N. (2018). Semi-automatic classification method for mapping the rice-planted areas of Japan using multi-temporal Landsat images. *Remote Sensing Applications: Society and Environment, 10*, 7-17. https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.02.001
24. Shen, S., Yang, S., Li, B., Tan, B., Li, Z., & Le Toan, T. (2009). A scheme for regional rice yield estimation using

ENVISAT ASAR data. *Science in China Series D: Earth Sciences*, *52*, 1183-1194. https://doi.org/10.1007/s11430-009-0094-z
25. Singha, M., Dong, J., Zhang, G., & Xiao, X. (2019). High resolution paddy rice maps in cloud-prone Bangladesh and Northeast India using Sentinel-1 data. *Scientific data*, *6*, 1-10. https://doi.org/10.1038/s41597-019-0036-3
26. Torbick, N., Chowdhury, D., Salas, W., & Qi, J. (2017). Monitoring rice agriculture across Myanmar using time series Sentinel-1 assisted by Landsat-8 and PALSAR-2. *Remote Sensing*, *9*, 119. https://doi.org/10.3390/rs9020119
27. USGS. (2021). United States Geological Survey. USGS Earth Explorer. https://earthexplorer.usgs.gov/.
28. Weiss, M., Jacob, F., & Duveiller, G. (2020). Remote sensing for agricultural applications: A meta-review. *Remote Sensing of Environment*, *236*, 111402. https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111402
29. Yaghouti, H., Pazira, E., Amiri, E., & Masihabadi, M. H. (2018). Application of satellite imagery and remote sensing technology to estimate rice yield. *Journal of Soil and Water Resources Conservation*, *7*, 55-68. (in Persian).
30. Yang, C., Everitt, J. H., & Murden, D. (2011). Evaluating high resolution SPOT 5 satellite imagery for crop identification. *Computers and Electronics in Agriculture*, *75*, 347-354. https://doi.org/10.1016/j.compag.2010.12.012
31. Younesi, B., Ahmadi Sani, N., & Sharafi, S. (2019). Evaluation of IRS-P6 Images for Orchards Area Estimating. *Remote Sensing & GIS, 11*, 115-128. (in Persian). https://doi.org/10.52547/gisj.11.1.113
32. Ziaeian Firouzabadi, P., Sayad Bidhendi, L., & Eskandari Noudeh, M. (2009). Mapping and acreage estimating of rice agricultural land using radarsat a satellite images. *Physical Geography Research Quarterly*, *41*, 45-58. (in Persian).